

文章编号: 0258-7025(2003)10-0917-04

C 波段和 980 nm 抽运的两段级联 L 波段掺铒光纤放大器

刘 彬, 孙军强

(华中科技大学光电子工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要 提出了由 C 波段和传统的 980 nm LD 两段级联抽运 L 波段信号的结构, C 波段的功率和波长由掺铒光纤激光器控制。从实验和理论上分析了注入不同波长和功率的 C 波段对其增益的影响。设计的掺铒光纤放大器(EDFA)结构, 在 C 波段波长为 1525 nm, 注入功率为 5 mW 时, 功率为 -20 dBm, 波长为 1580 nm 的信号增益提高了 7.7 dB。

关键词 光纤通信技术; L 波段掺铒光纤放大器; ASE 功率增加; C 波段光输出功率

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

Gain Enhancement of Two-stage L-band EDFA Pumped by C-band and 980 nm

LIU Bin, SUN Jun-qiang

(Department of Optoelectronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract A novel structure of two-stage EDFA pumped by C-band and 980 nm LD for gain enhancement of L-band signal was investigated via experiments and numerical calculation. C-band light was controlled by erbium-doped fiber laser. The influence of C-band power and wavelength on gain of L-band was analyzed principally. In the experiment, with an injection of 5 mW at 1525 nm, the gain enhancement of 7.7 dB for -20 dBm signal power at 1580 nm was achieved.

Key words fiber communication technique; L-band EDFA; increase of ASE power; output power of C-band

1 引 言

传统的 1550 nm 波段的掺铒光纤放大器(C 波段 EDFA)作为 WDM 传输系统中的一个重要组成部分,其技术得到广泛的发展。它的增益范围一般为 1530~1570 nm。但随着 WDM 对资源要求的增大,C 波段已经很难满足人们的需要。于是长波长掺铒光纤放大器(L 波段 EDFA)也得到迅速的发展,它的增益范围达到 1570~1610 nm,与 C 波段结合起来可以获得带宽为 80 nm 的波段。由于该波长远离铒离子发射谱中心,所以其增益明显低于 C 波段。

提高长波段增益的研究很多,较常用的方法有注入 1550 nm 辅助抽运源^[1],利用无用的放大自发辐射(ASE)作为辅助抽运源^[2],C 波段抽运^[3],多端抽运^[4]等方法,在增益和噪声指数方面都有很大的改善和提高。

本设计提出如图 1 的结构方式,前级用反馈的掺铒光纤激光器产生波长和功率可控制的 C 波段光抽运 L 波段信号,后级用 980 nm LD 抽运。注入的 C 波段光作为辅助抽运源,通过两级抽运把能量转换给 L 波段,从而提高了它的增益。虽然,整个 EDFA 的 ASE 功率比没有注入 C 波段时高,但综

收稿日期:2002-06-11; 收到修改稿日期:2002-08-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:60177015)资助项目。

作者简介:刘彬(1979—),男,华中科技大学光电子工程系硕士研究生,主要从事光纤通信器件方面的研究。E-mail:bingastar@sina.com

合考虑二者的因素,还是可以选择合适波长的 C 波段光,使 L 波段信号的增益提高。在实验中,注入波长为 1525 nm,功率为 5 mW 的 C 波段光可以使信号功率为 -20 dBm,波长为 1580 nm, 1590 nm, 1600 nm, 1610 nm 增益分别增加 7.7 dB, 5.8 dB, 4.2 dB, 3.6 dB。

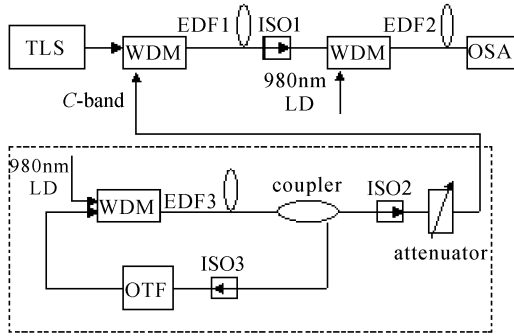


图 1 C 波段和 980 nm 两段级联 EDFA
Fig. 1 Two-stage EDFA pumped by C-band and 980 nm LD

2 实验装置和结果

实验装置如图 1。图中所选用的掺铒光纤是 $\text{Er}^{3+}/\text{Al}^{3+}$ 共掺杂光纤, EDF1, EDF2 长为 20 m, EDF3 长为 15 m;截止波长为 1330 nm,数值孔径为 0.22,在 1530 nm 吸收峰的吸收系数为 3.6 dB/m, 980 nm 抽运源功率为 30 mW。虚线框里是反馈光纤激光器,产生 C 波段光,通过调整可调谐光滤波器(OTF)的波长和衰减器(Attenuator)可以获得所要求的波长和功率的 C 波段光。C 波段光和信号源产生的 L 波段信号通过 WDM 耦合器复用,信号的波长和功率由信号源(TLS)控制。在 EDF1 中,C 波段光抽运 L 波段信号,放大的 L 波段信号和剩余的 C 波段光通过隔离器(ISO1),由 WDM 和 980 nm 抽运光耦合,在 EDF2 中,由 980 nm LD 再抽运。

图 2 是 C 波段功率为 5 mW 时,不同信号波长(1580~1610 nm)的增益。图 3 是信号波长为 1590 nm 时,L 波段增益随 C 波段不同注入功率的提高。

当 C 波段功率为 5 mW 时,如图 2,可以看到不同信号波长在 1525 nm 处都达到最大,分别为 13 dB, 11.2 dB, 9.9 dB, 8.4 dB,随着 C 波段波长的增加,增益降低。在 1525~1520 nm 内,增益陡然下降。

由图 3 可以看到,当注入功率从 0.01~5 mW 变化时,增益都高于没有注入 C 波段光的增益,而

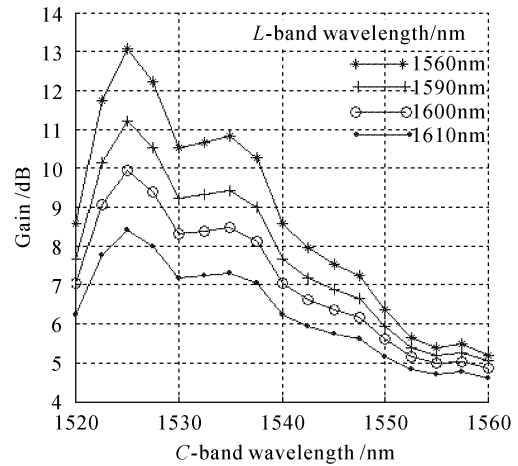


图 2 L 波段增益随不同 C 波段波长变化的关系
Fig. 2 Gain of L-band EDFA with variation of wavelength in C-band

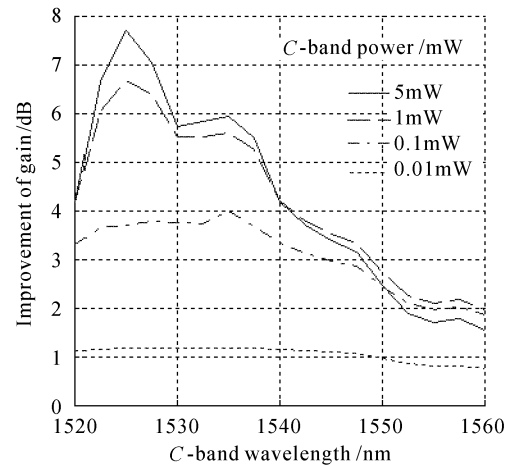


图 3 L 波段增益提高随不同 C 波段功率变化关系
Fig. 3 Gain of L-band EDFA with variation of C-band power

且随着 C 波段注入功率的提高,增益提高也越大,在 1525 nm,注入功率 5 mW 时,增益提高达到 7.7 dB。随着注入 C 波段功率的减小,1590 nm 信号增益峰对应的注入 C 波段波长向更长波长方向移动,在功率为 0.1 mW 时,增益峰从功率为 5 mW 时的 1525 nm 转到了 1535 nm 处。

3 实验结果讨论和理论分析

图 4,5 是按上述实验参数,用二能级 EDFA 理论模型^[5,6]计算当信号波长 $\lambda_s = 1580$ nm,输入信号功率 $P_s = -20$ dBm,输入 C 波段功率分别为 0.01, 0.1, 1 和 5 mW 时,C 波段输出功率和 ASE 功率的增加。

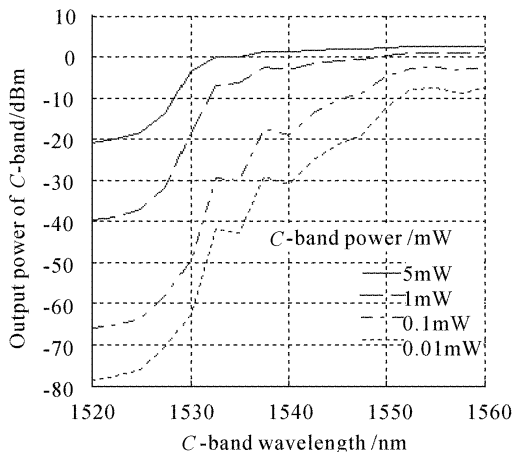


图 4 计算的 C 波段光输出功率

Fig. 4 Calculated output power of C-band

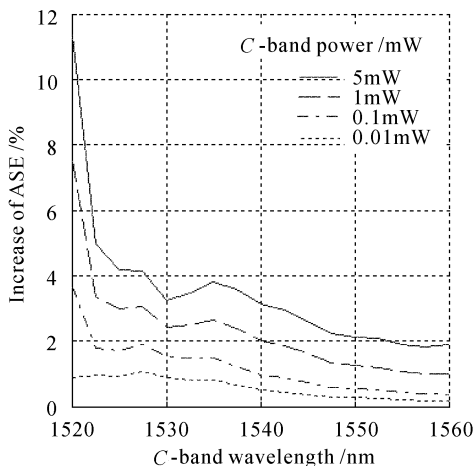


图 5 计算的 ASE 功率增加

Fig. 5 Calculated increase of ASE power

计算结果可以看到注入的 0.01~5 mW 的 C 波段光通过 EDFA 后,输出功率都大大地减小,这说明了大部分的 C 波段光通过系统后能量都被转化;而 ASE 能量都有增加。损失的 C 波段光能量转化为两部分,一部分用于提高 L 波段输出,另外一部分为 ASE。因此,被 L 波段吸收以提高信号增益的能量受 C 波段转化功率和转化为无用 ASE 能量的综合影响。由图 4 可以看到,当 C 波段功率一定,波长越小时,转化的 C 波段功率越大,当 C 波段注入功率为 5 mW 时,在 1520~1527.5 nm 的输出都小于 -10 dBm,几乎所有的 C 波段光能量都被转化。

由于前级 C 波段光抽运 L 波段信号,ASE 功率有一定的增加。如图 5, C 波段波长越小,产生的 ASE 功率增加也越大,在波长为 1520 nm 处,当 C

波段功率分别为 0.01, 0.1, 1 和 5 mW 时, ASE 功率相对于没有加 C 波段时分别增加 1%, 3.8%, 7.4% 和 11.2%, 所以要综合考虑 C 波段转换功率和增加的无用 ASE 功率, 来确定要获得最大的 L 波段增益时应选择的 C 波段波长。

实验过程中, C 波段功率为 5 mW 时, 可以看到在 1580~1610 nm 波段内, 1525 nm 处的增益最大, 这时计算得出 C 波段转化功率超过了 4.9 mW, 虽然它的 ASE 噪声增加高达 4.2%, 但前者提供转化的 L 波段功率大大地高于后者的损耗, 所以在此波长处, 信号光从 C 波段光吸收的能量最多, 增益达到最大。

在研究不同 C 波段功率对 L 波段增益提高影响的实验中, 观察到随着注入 C 波段功率的减小, 增益峰慢慢向更长波长方向移动(如图 3)。在功率为 0.1 mW 时, 增益峰处对应的注入 C 波段波长为 1535 nm, 这是由于注入的 C 波段功率较小时, 本身能用于转换的能量较小, 注入不同波长的 C 波段光, 能提供功率的变化也不大, 而此处增加的 ASE 功率小于 1.4%, 低于波长为 1525 nm 时增加的 1.8%, 更低于 1520 nm 处的 3.6%, 二者综合分析在 1535 nm 得到最大增益。

还可以看到当 C 波段的注入功率小于 0.1 mW 时, 增益明显减小, 这是由于此时的 C 波段功率很小, 大量的 L 波段信号被前级 EDF 吸收, 因此真正用于后级 EDFA 放大的信号减小, 所以整个系统的增益大大减小, 接近没有 C 波段时的增益。

此外, 在 1520~1525 nm 间, 当 C 波段功率较大(>1 mW)时, 可以看到信号增益明显降低, 是由于在这个区间里, ASE 功率大大地高于其他波长的增加, 说明由 C 波段转换的能量都损耗在无用的 ASE 上, 用于转换给 L 波段的能量很小。

理论计算可以知道当注入 C 波段功率达到一定值时, 输出的 L 波段功率趋于饱和。此外注入的能量都转化为 ASE 噪声以及直接从 EDF 中输出, 大大降低了 C 波段光利用效率。但由于实验条件限制, 进一步探求输出饱和功率和 C 波段注入功率、波长的关系还有待进一步的实验和研究。

4 结 论

本文设计了用 C 波段和 980 nm 两段级联抽运的结构, 通过数值计算从理论上分析了这一方案的可行性。证明了通过优化选择合适的 C 波段光波

长和功率,可以获得更多的 C 波段光转化功率,同时减少由 C 波段光抽运造成的 ASE 功率增加,从而提高 L 波段信号的增益。实验中,当注入光波长为 1525 nm,功率为 5 mW 时,信号功率为 -20 dBm,波长为 1580 nm,1590 nm,1600 nm 和 1610 nm 时增益分别增加了 7.7 dB,5.8 dB,4.2 dB 和 3.6 dB。

参 考 文 献

- 1 Shinji Yamashita, Masato Nishihara. L-band erbium doped fiber amplifier incorporating an inline fiber grating laser [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2001, **7**(1):44~48
- 2 Juhan Lee, Uh-Chan Ryu, Seong Joon Ahn *et al.*. Enhancement of power conversion efficiency for an L-band EDFA with a secondary pumping effect in the unpumped EDF section [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1):42~44
- 3 Bo-Hun Choi, Hyo-Hoon Park, Moonjung Chu *et al.*. High-gain coefficient long-wavelength-band erbium-doped amplifier using 1530-nm band pump [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(2):109~111
- 4 Tang Pingsheng, Liu Xiaoming, Liu Dan *et al.*. Experimental study of two-stage erbium doped fiber amplifiers pumped by 980 nm and 1480 nm LD [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(9):797~801
- 5 C. Randy Giles, Emmanuel Desurvire. Modeling erbium-doped fiber amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1991, **9**(2):271~283
- 6 Yang Xianglin. Optical Amplifier and Its Application [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2000 (in Chinese)

本刊增页及更改出版日期启事

近年来,由于来稿量较多,而本刊的容量又有限,为了缩短论文的发表周期,故从 2004 年第 1 期起,经上级有关部门批准,本刊将从原来的 96 面增至 112 面,出版日期从每月 20 日提前为每月 10 日。特此通知。

《中国激光》编辑部

2003 年 10 月